

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
16. Oktober 2003 (16.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/085247 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: F02D 41/20

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01154

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. April 2003 (08.04.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 15 609.3 9. April 2002 (09.04.2002) DE
103 10 955.2 13. März 2003 (13.03.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02
20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ROHATSCHKE, An-
dreas-Juergen [DE/DE]; Einsteinstrasse 7, 73249 Wer-
nau/Neckar (DE). SCHULZ, Udo [DE/DE]; Kornblumen-
weg 34, 71665 Vaihingen/Enz (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

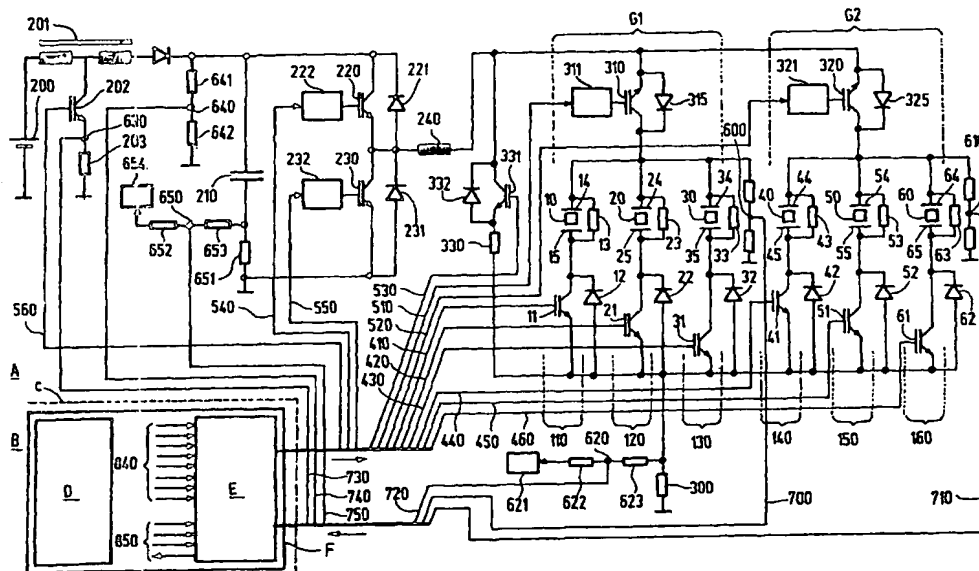
Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR OPERATING A FUEL INJECTION SYSTEM FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER KRAFTSTOFFEINSPRITZANLAGE FÜR EINEN VERBREN-
NUNGSMOTOR





Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, bei dem überwacht wird, ob eine Überschneidung eines Zeitintervalls, in dem ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in einem Zylinder ge- oder entladen werden soll, mit einem Zeitintervall, in dem ein anderes piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in einen anderen Zylinder ge- oder entladen werden soll, auftritt, ist dadurch gekennzeichnet, daß überwacht wird, ob bei einer Einspritzung niederer Priorität die Ladung oder Entladung innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls um den Zeitpunkt einer Ladung oder Entladung einer Einspritzung höherer Priorität auftritt, wobei während des Betriebs der Kraftstoffeinspritzanlage die Abstände von zeitlichen Lade- und/oder Entlade flanken (Flankenüberlappungen) bestimmt und hieraus die Größe der Verschiebung und/oder Verkürzung der Einspritzungen niederer Priorität gegenüber der Einspritzungen höherer Priorität bestimmt wird.

**Verfahren zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage für einen
Verbrennungsmotor**

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor nach den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 6.

Aus der DE 100 33 343 A1 ist eine Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor, insbesondere einen Dieselmotor bekannt, die eine Einspritzregelung zur Überwachung und/oder zum Lösen eines Konfliktes beim Ansteuern der Aktorelemente, insbesondere ein Konfliktmanagement sich überlagernder Einspritzverläufe von Piezoaktoren aufweist.

Bei Piezo-Common-Rail-Aktoren kann nur gleichzeitig eine Ansteuerflanke ausgeführt werden. Aus verbrennungstechnischen Gründen ist es aber erforderlich, die Ansteuerung komplementärer Bänke so zu applizieren, daß sich Einspritzungen überlagern. Dies ist dann mit der aus der DE 100 33 343 A1 bekannten Schaltungseinrichtung zur Verschaltung piezoelektrischer Elemente möglich, wenn die Lade-/Entlade flanken der piezoelektrischen Elemente keine Überlappung aufweisen. Bei überlappenden Flanken ist bei der aus der DE 100 33 343 A1 hervorgehenden Kraftstoffeinspritzanlage vorgesehen, daß die

Ansteuerung mit niedriger Priorität (im folgenden niederpriorie Ansteuerung genannt) verschoben oder verkürzt wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Flankenüberlappungen zu erkennen, zu bestimmen und hieraus den notwendigen Grad der zeitlichen Verschiebung bzw. Verkürzung aus dem Überlappungsbereich abzuleiten.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage der eingangs beschriebenen Art durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche 1 und 6 gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche.

So werden die Flankenüberlappungen vorteilhafterweise während statischer und dynamischer Interrupts einer Ansteuerschaltung während des Betriebs der Einspritzanlage bestimmt. Diese Bestimmung erfolgt vorzugsweise in Abhängigkeit von der Drehzahl und von dem Kurbelwellenwinkel des Verbrennungsmotors.

Dabei werden einzelne Flankenzeitpunkte paarweise auf Überlappung untersucht.

Weitere Vorteile und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen und der Zeichnung.

In der Zeichnung zeigen:

- | | |
|---------|--|
| Fig. 1 | eine aus dem Stand der Technik bekannte Verschaltung piezoelektrischer Elemente; |
| Fig. 2a | das Laden eines piezoelektrischen Elementes; |
| Fig. 2b | das Laden eines piezoelektrischen Elementes; |
| Fig. 2c | das Entladen eines piezoelektrischen Elementes; |
| Fig. 2d | das Entladen eines piezoelektrischen Elementes; |
| Fig. 3 | einen Ansteuerungs-IC; |

- Fig. 4 einen aus dem Stand der Technik bekannten zeitlichen Ablauf von Interrupts;
- Fig. 5 schematisch eine Darstellung von Kollisionsbereichen von Flankenpaaren im Winkelbereich;
- Fig. 6 eine schematische Darstellung des Verschiebens einer niederprioren Flanke nach spät und
- Fig. 7 eine schematische Darstellung des Verkürzens einer niederprioren Ansteuerung.

Fig. 1 zeigt piezoelektrische Elemente 10, 20, 30, 40, 50, 60 sowie Mittel zu ihrer Ansteuerung. Dabei bezeichnet A einen Bereich in detaillierter Darstellung sowie B einen Bereich in undetaillierter Darstellung, deren Trennung mit einer gestrichelten Linie c angedeutet ist. Der detailliert dargestellte Bereich A umfaßt eine Schaltung zum Laden und Entladen der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60. In dem betrachteten Beispiel handelt es sich bei den piezoelektrischen Elementen 10, 20, 30, 40, 50 und 60 um Aktoren in Kraftstoffeinspritzventilen (insbesondere in sogenannten Common Rail Injektoren) eines Verbrennungsmotors. In der beschriebenen Ausführungsform werden zur unabhängigen Steuerung von sechs Zylindern innerhalb eines Verbrennungsmotors sechs piezoelektrische Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 verwendet; für beliebige andere Zwecke könnte jedoch eine beliebige andere Anzahl piezoelektrischer Elemente geeignet sein.

Der undetailliert dargestellte Bereich B umfaßt eine Einspritzregelung F mit einem Steuergerät D und einen Ansteuerungs-IC E, die der Steuerung der Elemente innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A dient. Dem Ansteuerungs-IC E werden verschiedene Meßwerte von Spannungen und Strömen aus der gesamten restlichen Ansteuerschaltung des piezoelektrischen Elements zugeführt. Erfindungsgemäß sind der Steuerrechner D und der Ansteuerungs-IC E zur Regelung der Ansteuerspannungen sowie der Ansteuerzeiten für das piezoelektrische Element ausgebildet. Der Steuerrechner D und/oder der Ansteuerungs-IC E sind ebenfalls zur Überwachung verschiedener Spannungen und Ströme der gesamten Ansteuerschaltung des piezoelektrischen Elements ausgebildet.

In der nachfolgenden Beschreibung werden zunächst die einzelnen Elemente innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A eingeführt. Es folgt eine allgemeine Beschreibung der Vorgänge des Ladens und Entladens der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60. Schließlich wird detailliert beschrieben, wie beide Vorgänge durch den Steuerrechner D und den Ansteuerungs-IC E gesteuert und überwacht werden.

Die piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 sind in eine erste Gruppe G1 und eine zweite Gruppe G2 aufgeteilt, die jeweils drei piezoelektrische Elemente umfassen (d.h., piezoelektrische Elemente 10, 20 und 30 in der ersten Gruppe G1 bzw. piezoelektrische Elemente 40, 50 und 60 in der zweiten Gruppe G2). Die Gruppen G1 und G2 sind Bestandteile parallelgeschalteter Schaltungsteile. Mit den Gruppenwahlschaltern 310, 320 ist festlegbar, welche der Gruppen G1, G2 der piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 bzw. 40, 50 und 60 jeweils mit Hilfe einer gemeinsamen Lade- und Entladeeinrichtung entladen werden (für Ladevorgänge sind die Gruppenwahlschalter 310, 320, wie nachstehend noch näher beschrieben, jedoch ohne Bedeutung). Die piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 der ersten Gruppe G1 sind auf einer Aktorbank und die piezoelektrischen Elemente 40, 50 und 60 in der zweiten Gruppe G2 sind auf einer weiteren Aktorbank angeordnet. Als Aktorbank wird dabei ein Block bezeichnet, in dem zwei oder mehr Aktorelemente, insbesondere piezoelektrische Elemente, fest abgeordnet, z.B. vergossen, sind.

Die Gruppenwahlschalter 310, 320 sind zwischen einer Spule 240 und den jeweiligen Gruppen G1 und G2 angeordnet (deren spulenseitigen Anschlüssen) und sind als Transistoren realisiert. Es sind Treiber 311, 321 implementiert, die von dem Ansteuerungs-IC E empfangene Steuersignale in Spannungen umformen, die nach Bedarf zum Schließen und Öffnen der Schalter wählbar sind.

Parallel zu den Gruppenwahlschaltern 310, 320 sind (als Gruppenwahldioden bezeichnete) Dioden 315 bzw. 325 vorgesehen. Wenn die Gruppenwahlschalter 310, 320 als MOSFETs bzw. IGBTs ausgeführt sind, können beispielsweise diese Gruppenwahldioden 315 und 325 durch die parasitären Dioden selbst gebildet sein. Während Ladevorgängen werden die Gruppenwahlschalter 310, 320 von den Dioden 315, 325 überbrückt. Die Funktionalität der Gruppenwahlschalter 310, 320 reduziert sich daher auf die Auswahl einer

Gruppe G1, G2 der piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 bzw. 40, 50 und 60 lediglich für einen Entladevorgang.

Innerhalb der Gruppen G1 bzw. G2 sind die piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 bzw. 40, 50 und 60 jeweils als Bestandteile der parallelgeschalteten Piezozweige 110, 120 und 130 (Gruppe G1) und 140, 150 und 160 (Gruppe G2) angeordnet. Jeder Piezozweig umfaßt eine Serienschaltung bestehend aus einer ersten Parallelschaltung mit einem piezoelektrischen Element 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60, und einem (als Zweigwiderstand bezeichneten) Widerstand 13, 23, 33, 43, 53 bzw. 63 sowie einer zweiten Parallelschaltung mit einem als Transistor 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 ausgeführten (als Zweigwahlschalter bezeichneten) Wahlschalter und einer (als Zweigdiode bezeichneten) Diode 12, 22, 32, 42, 52 bzw. 62).

Die Zweigwiderstände 13, 23, 33, 43, 53 bzw. 63 bewirken, daß das jeweils entsprechende piezoelektrische Element 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 sich während und nach einem Ladevorgang kontinuierlich entlädt, da sie jeweils beide Anschlüsse der kapazitiven piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 miteinander verbinden. Die Zweigwiderstände 13, 23, 33, 43, 53 bzw. 63 haben jedoch eine ausreichende Größe, um diesen Vorgang gegenüber den gesteuerten Lade- und Entladevorgängen langsam zu gestalten, wie nachstehend beschrieben. Daher ist die Ladung eines beliebigen piezoelektrischen Elements 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 innerhalb einer relevanten Zeit nach einem Ladevorgang als unveränderlich zu betrachten.

Die Zweigwahlschalter/Zweigdiodenpaare in den einzelnen Piezozweigen 110, 120, 130, 140, 150 bzw. 160, d.h., Wahlschalter 11 und Diode 12 in Piezozweig 110, Wahlschalter 21 und Diode 22 in Piezozweig 120 usw., sind realisierbar als elektronische Schalter (d.h. Transistoren) mit parasitären Dioden, beispielsweise MOSFETs bzw. IGBTs (wie vorstehend für die den Gruppenwahlschalter/Diodenpaare 310 und 315 bzw. 320 und 325 angegeben).

Mittels der Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 ist festlegbar, welche der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 jeweils mit Hilfe einer gemeinsamen Lade- und Entladeeinrichtung geladen werden: Geladen werden jeweils all diejenigen

piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60, deren Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 während des nachfolgend beschriebenen Ladevorgangs geschlossen sind. Gewöhnlich ist immer nur einer der Zweigwahlschalter geschlossen.

Die Zweigdioden 12, 22, 32, 42, 52 und 62 dienen der Überbrückung der Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 während Entladevorgängen. Daher kann in dem betrachteten Beispiel für Ladevorgänge jedes einzelne piezoelektrische Element ausgewählt werden, während für Entladevorgänge entweder die erste Gruppe G1 oder die zweite Gruppe G2 der piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30 bzw. 40, 50 und 60, bzw. beide ausgewählt werden müssen.

Zurückkommend auf die piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 selbst, können die Zweigwahlpiezoanschlüsse 15, 25, 35, 45, 55 bzw. 65 entweder mit Hilfe der Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51 bzw. 61 oder über die entsprechenden Dioden 12, 22, 32, 42, 52 bzw. 62 sowie in beiden Fällen zusätzlich über Widerstand 300 an Masse gelegt werden.

Mittels des Widerstands 300 werden die während des Ladens und Entladens der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 zwischen den Zweigwahlpiezoanschlüssen 15, 25, 35, 45, 55 bzw. 65 und Masse fließenden Ströme gemessen. Eine Kenntnis dieser Ströme ermöglicht ein gesteuertes Laden und Entladen der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60. Insbesondere durch Schließen und Öffnen des Ladeschalter 220 bzw. Entladeschalters 230 in Abhängigkeit des Betrags der Ströme, ist es möglich, den Ladestrom bzw. Entladestrom auf vorgegebene Mittelwerte einzustellen und/oder zu verhindern, daß sie vorgegebene Maximalwerte und/oder Minimalwerte überschreiten bzw. unterschreiten.

In dem betrachteten Beispiel, ist für die Messung selbst noch eine Spannungsquelle 621 erforderlich, die eine Spannung von beispielsweise 5 V DC liefert, sowie ein Spannungsteiler in Form zweier Widerstände 622 und 623. Damit soll der Ansteuerungs-IC E (der die Messungen durchführt) vor negative Spannungen geschützt werden, die andernfalls an Meßpunkt 620 auftreten könnten, und die mit dem Ansteuerungs-IC E nicht beherrschbar sind: Derartige negative Spannungen werden durch Addition mit einer von der genannten

Spannungsquelle 621 und den Spannungsteiler-Widerständen 622 und 623 gelieferten positiven Spannungsanordnung verändert.

Der andere Anschluß des jeweiligen piezoelektrischen Elements 10, 20, 30, 40, 50 und 60, d.h. die jeweilige Gruppenwahlpiezoanschluß 14, 24, 34, 44, 54 bzw. 64, kann über den Gruppenwahlschalter 310 bzw. 320 oder über die Gruppenwahldiode 315 bzw. 325 sowie über eine Spule 240 und eine Parallelschaltung bestehend aus einem Ladeschalter 220 und einer Ladediode 221 an den Pluspol einer Spannungsquelle angeschlossen werden, sowie alternativ bzw. zusätzlich über den Gruppenwahlschalter 310 bzw. 320 oder über die Diode 315 bzw. 325 sowie über die Spule 240 und eine Parallelschaltung bestehend aus einem Entladeschalter 230 und einer Entladediode 231 an Masse gelegt werden. Ladeschalter 220 und Entladeschalter 230 sind beispielsweise als Transistoren realisiert, die über Treiber 222 bzw. 232 angesteuert werden.

Die Spannungsquelle umfaßt einen Kondensator 210. Der Kondensator 210 wird von einer Batterie 200 (beispielsweise einer Kraftfahrzeugbatterie) und einem nachgeschalteten Gleichspannungswandler 201 geladen. Der Gleichspannungswandler 201 formt die Batteriespannung (beispielsweise 12 V) in im wesentlichen beliebige andere Gleichspannungen (beispielsweise 250 V) um, und lädt den Kondensator 210 auf diese Spannung auf. Die Steuerung des Gleichspannungswandlers 201 erfolgt über den Transistorschalter 202 und den Widerstand 203, der der Messung von am Messpunkt 630 abgegriffenen Strömen dient.

Zum Zwecke der Gegenkontrolle wird durch den Ansteuerungs-IC E sowie durch die Widerstände 651, 652 und 653 und beispielsweise eine 5 V Gleichspannungsquelle 654 eine weitere Strommessung am Meßpunkt 650 ermöglicht; des weiteren ist durch den Ansteuerungs-IC E sowie durch die spannungsteilenden Widerstände 641 und 642 eine Spannungsmessung am Meßpunkt 640 möglich.

Ein (als Totalentladungswiderstand bezeichneter) Widerstand 330, ein (als Stoppschalter bezeichneter) Schalter 331 sowie eine (als Totalentladungsdioden bezeichneter) Diode 332 dienen schließlich der Entladung der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 (falls sie außerhalb des Normalbetreibers, wie nachstehend beschrieben, nicht durch

den "normalen" Entladevorgang entladen werden). Der Stoppschalter 331 wird vorzugsweise nach "normalen" Entladevorgängen (zyklisches Entladen über Entladeschalter 230) geschlossen und legt dadurch die piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 über die Widerstände 330 und 300 an Masse. Somit werden jegliche, eventuell in den piezoelektrischen Elementen 10, 20, 30, 40, 50 und 60 verbliebene Restspannungen beseitigt. Die Totalentladungsdioden 332 verhindern ein Auftreten von negativen Spannungen an den piezoelektrischen Elementen 10, 20, 30, 40, 50 und 60, die unter Umständen durch die negativen Spannungen beschädigt werden könnten.

Das Laden und Entladen aller piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60, bzw. eines bestimmten piezoelektrischen Elements 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60, erfolgt mit Hilfe einer einzigen (allen Gruppen und ihren piezoelektrischen Elementen gemeinsamen) Lade- und Entladeeinrichtung. In dem betrachteten Beispiel umfaßt die gemeinsame Lade- und Entladeeinrichtung die Batterie 200, den Gleichspannungswandler 201, den Kondensator 210, den Ladeschalter 220 und den Entladeschalter 230, Ladediode 221 und Entladediode 231 sowie die Spule 240.

Das Laden und Entladen eines jeden piezoelektrischen Elements erfolgt auf die gleiche Art und Weise und wird nachfolgend unter Bezugnahme auf lediglich das erste piezoelektrische Element 10 erläutert.

Die während der Lade- und Entladevorgänge auftretenden Zustände werden mit Bezug auf die Figuren 2A bis 2D erläutert, von denen die Figuren 2A und 2B das Laden des piezoelektrischen Elements 10, sowie die Figuren 2C und 2D das Entladen des piezoelektrischen Elements 10 veranschaulichen.

Die Steuerung der Auswahl eines oder mehrerer zu ladender bzw. zu entladender piezoelektrischer Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60, der im folgenden beschriebene Ladevorgang sowie der Entladevorgang erfolgt durch den Ansteuerungs-IC E und das Steuergerät D durch Öffnen bzw. Schließen eines oder mehrerer der oben eingeführten Schalter 11, 21, 31, 41, 51, 61; 310, 320; 220, 230 und 331. Die Wechselwirkungen zwischen den Elementen innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A einerseits sowie des Ansteu-

erungs-IC E und des Steuerrechners D andererseits wird nachfolgend noch näher erläutert.

In bezug auf den Ladevorgang, muß zunächst ein aufzuladendes piezoelektrisches Element 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 ausgewählt werden. Um lediglich das erste piezoelektrische Element 10 zu laden, wird der Zweigwahlschalter 11 des ersten Zweiges 110 geschlossen, während alle übrigen Zweigwahlschalter 21, 31, 41, 51, und 61 geöffnet bleiben. Um ausschließlich ein beliebiges anderes piezoelektrisches Element 20, 30, 40, 50, 60 zu laden, bzw. um mehrere gleichzeitig zu laden, würde dessen/deren Auswahl durch Schließen der entsprechenden Zweigwahlschalter 21, 31, 41, 51, und/oder 61 erfolgen.

Sodann kann der Ladevorgang selbst erfolgen:

Innerhalb des betrachteten Beispiels ist für den Ladevorgang im allgemeinen eine positive Potentialdifferenz zwischen dem Kondensator 210 und Gruppenwahlpiezoanschluß 14 des ersten piezoelektrischen Elements 10 erforderlich. Solange jedoch Ladeschalter 220 und Entladeschalters 230 geöffnet sind, erfolgt kein Laden bzw. Entladen des piezoelektrischen Elements 10. In diesem Zustand befindet sich die in Fig. 1 abgebildete Schaltung in einem stationären Zustand, d.h. das piezoelektrische Element 10 behält seinen Ladungszustand im wesentlichen unverändert bei, wobei keine Ströme fließen.

Zum Laden des ersten piezoelektrischen Elements 10 wird Schalter 220 geschlossen. Theoretisch könnte das erste piezoelektrische Element 10 allein dadurch geladen werden. Dies würde jedoch zu großen Strömen führen, die die betreffenden Elemente beschädigen könnten. Daher werden die auftretenden Ströme am Meßpunkt 620 gemessen und Schalter 220 wird wieder geöffnet sobald die erfaßten Ströme einen bestimmten Grenzwert überschreiten. Um auf dem ersten piezoelektrischen Element 10 eine beliebige Ladung zu erreichen, wird daher Ladeschalter 220 wiederholt geschlossen und geöffnet, während Entladeschalter 230 geöffnet bleibt.

Bei näherer Betrachtung ergeben sich bei geschlossenem Ladeschalter 220 die in Fig. 2A dargestellten Verhältnisse, d.h. es entsteht eine geschlossene Schaltung umfassend eine Reihenschaltung bestehend aus dem piezoelektrischen Element 10, Kondensator 210 und

der Spule 240, wobei in der Schaltung ein Strom $i_{LE}(t)$ fließt, wie in Fig. 2A durch Pfeile angedeutet. Aufgrund dieses Stromflusses werden sowohl dem Gruppenwahlpiezoanschluß 14 des ersten piezoelektrischen Elements 10 positive Ladungen zugeführt als auch in der Spule 240 Energie gespeichert.

Wenn der Ladeschalter 220 kurz (beispielsweise einige μs) nach dem Schließen öffnet, ergeben sich die in Fig. 2B dargestellten Verhältnisse: es entsteht eine geschlossene Schaltung umfassend eine Reihenschaltung bestehend aus dem piezoelektrischen Element 10, Entladediode 231 und Spule 240, wobei in der Schaltung ein Strom $i_{LA}(t)$ fließt, wie in Fig. 2B durch Pfeile angedeutet. Aufgrund dieses Stromflusses fließt in der Spule 240 gespeicherte Energie in das piezoelektrische Element 10. Entsprechend der Energiezufuhr an das piezoelektrische Element 10, erhöht sich die in diesem auftretende Spannung und vergrößern sich dessen Außenabmessungen. Bei erfolgter Energietübertragung von der Spule 240 an das piezoelektrische Element 10, ist der in Fig. 1 dargestellte und bereits beschriebene stationäre Zustand der Schaltung wieder erreicht.

Zu diesem Zeitpunkt bzw. früher oder später (je nach gewünschtem Zeitprofil des Ladevorgangs), wird Ladeschalter 220 erneut geschlossen und wieder geöffnet, so daß die vorstehend beschriebenen Vorgänge erneut ablaufen. Aufgrund des erneuten Schließens und erneuten Öffnens des Ladeschalters 220 erhöht sich die in dem piezoelektrischen Element 10 gespeicherte Energie (die in dem piezoelektrischen Element 10 bereits gespeicherte Energie und die neu zugeführte Energie summieren sich), und die an dem piezoelektrischen Element 10 auftretenden Spannung erhöht sich und dessen Außenabmessungen vergrößern sich entsprechend.

Werden das oben erwähnte Schließen und Öffnen des Ladeschalters 220 vielfach wiederholt, so erfolgt die Erhöhung der an dem piezoelektrischen Element 10 auftretenden Spannung sowie die Ausdehnung des piezoelektrischen Elements 10 stufenweise.

Wenn Ladeschalter 220 eine vorgegebene Anzahl von Malen geschlossen und geöffnet wurde und/oder das piezoelektrische Element 10 den gewünschten Ladezustand erreicht hat, wird das Laden des piezoelektrischen Elements durch Offenlassen des Ladeschalters 220 beendet.

In bezug auf den Entladevorgang, werden in dem betrachteten Beispiel die piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 und 60 in Gruppen (G1 und/oder G2) wie nachfolgend beschrieben entladen:

Zunächst werden der Gruppenwahlschalter 310 und/oder 320 der Gruppe G1 und/oder G2, deren piezoelektrische Elemente zu entladen sind, geschlossen (die Zweigwahlschalter 11, 21, 31, 41, 51, 61 haben keinen Einfluß auf die Auswahl der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50, 60 für den Entladevorgang, da sie in diesem Fall durch die Dioden 12, 22, 32, 42, 52 und 62 überbrückt werden). Um das piezoelektrische Element 10 als Teil der ersten Gruppe G1 zu entladen, wird daher der erste Gruppenwahlschalter 310 geschlossen.

Wenn der Entladeschalter 230 geschlossen ist, ergeben sich die in Fig. 2C dargestellten Verhältnisse: es entsteht eine geschlossene Schaltung umfassend eine Reihenschaltung bestehend aus dem piezoelektrischen Element 10 und der Spule 240, wobei in der Schaltung ein Strom $i_{EE}(t)$ fließt, wie in Fig. 2C durch Pfeile angedeutet. Aufgrund dieses Stromflusses wird die in dem piezoelektrischen Element gespeicherte Energie (ein Teil davon) in die Spule 240 übertragen. Entsprechend der Energieübertragung von dem piezoelektrischen Element 10 zur Spule 240, sinkt die an dem piezoelektrischen Element 10 auftretende Spannung und verringern sich dessen Außenabmessungen.

Wenn der Entladeschalter 230 kurz (beispielsweise, einige μs) nach dem Schließen öffnet, ergeben sich die in Fig. 2D dargestellten Verhältnisse: es entsteht eine geschlossene Schaltung umfassend eine Reihenschaltung bestehend aus dem piezoelektrischen Element 10, Kondensator 210, Ladediode 221 und der Spule 240, wobei in der Schaltung ein Strom $i_{EA}(t)$ fließt, wie in Fig. 2D durch Pfeile angedeutet. Aufgrund dieses Stromflusses wird in der Spule 240 gespeicherte Energie in den Kondensator 210 rückgeführt. Bei erfolgter Energieübertragung von der Spule 240 in den Kondensator 210, ist der in Fig. 1 dargestellte und bereits beschriebene stationäre Zustand der Schaltung wieder erreicht.

Zu diesem Zeitpunkt bzw. früher oder später (je nach gewünschtem Zeitprofil des Entladevorgangs), wird Entladeschalter 230 erneut geschlossen und wieder geöffnet, so daß die

vorstehend beschriebenen Vorgänge erneut ablaufen. Aufgrund des erneuten Schließens und erneuten Öffnens des Entladeschalters 230 nimmt die in dem piezoelektrischen Element 10 gespeicherte Energie weiter ab, und die an dem piezoelektrischen Element auftretenden Spannung und dessen Außenabmessungen nehmen ebenfalls entsprechend ab.

Werden das oben erwähnte Schließen und Öffnen des Entladeschalters 230 vielfach wiederholt, so erfolgt die Abnahme der an dem piezoelektrischen Element 10 auftretenden Spannung sowie der Ausdehnung des piezoelektrischen Elements 10 stufenweise.

Wenn Entladeschalter 230 eine vorgegebene Anzahl von Malen geschlossen und geöffnet wurde und/oder das piezoelektrische Element den gewünschten Ladezustand erreicht hat, wird das Entladen des piezoelektrischen Elements durch Offenlassen des Entladeschalters 230 beendet.

Die Wechselwirkung zwischen dem Ansteuerungs-IC E und dem Steuerrechner D einerseits sowie den Elementen innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A andererseits erfolgt mit Hilfe von Steuersignalen, die über Zweigwahlsteuerleitungen 410, 420, 430, 440, 450, 460, Gruppenwahlsteuerleitungen 510, 520, Stoppschaltersteuerleitung 530, Ladeschaltersteuerleitung 540 und Entladeschaltersteuerleitung 550 sowie Steuerleitung 560 Elementen innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A von dem Ansteuerungs-IC E zugeführt werden. Andererseits werden an den Meßpunkten 600, 610, 620, 630, 640, 650 innerhalb des detailliert dargestellten Bereichs A Sensorsignale erfaßt, die dem Ansteuerungs-IC E über die Sensorleitungen 700, 710, 720, 730, 740, 750 zugeführt werden.

Zur Auswahl der piezoelektrischen Elemente 10, 20, 30, 40, 50 bzw. 60 für die Ausführung von Lade- bzw. Entladevorgängen einzelner oder mehrerer piezoelektrischer Elemente 10, 20, 30, 40, 50, 60 durch Öffnen und Schließen der entsprechenden Schalter wie vorstehend beschrieben, werden an die Transistorbasen mittels der Steuerleitungen Spannungen angelegt bzw. nicht angelegt. Mittels der Sensorsignale erfolgt insbesondere eine Bestimmung der sich ergebenden Spannung der piezoelektrischen Elemente 10, 20 und 30, bzw. 40, 50 und 60 anhand der Meßpunkte 600 bzw. 610 sowie der Lade- und Entladeströme anhand des Meßpunkts 620.

In Fig. 3 sind einige der in dem Ansteuerungs-IC E enthaltenen Bauelemente angegeben: Eine Logik-Schaltung 800, Speicher 810, Digital-Analog-Umsetzerbaustein 820 sowie Komparatorbaustein 830. Ferner ist angegeben, daß der (für Steuersignale verwendete) schnelle Parallelbus 840 mit der Logik-Schaltung 800 des Ansteuerungs-IC E verbunden ist, während der langsamere serielle Bus 850 mit dem Speicher 810 verbunden ist. Die logische Schaltung 800 ist mit dem Speicher 810, mit dem Komparatorbaustein 830 sowie mit den Signalleitungen 410, 420, 430, 440, 450 und 460; 510 und 520; 530, 540, 550 und 560 verbunden. Der Speicher 810 ist mit der logischen Schaltung 800 sowie mit dem Digital-Analog-Umsetzerbaustein 820 verbunden. Des weiteren ist der Digital-Analog-Umsetzerbaustein 820 mit dem Komparatorbaustein 830 verbunden. Darüber hinaus ist der Komparatorbaustein 830 mit den Sensorleitungen 700 und 710, 720, 730, 740 und 750 und - wie bereits erwähnt - mit der Logik-Schaltung 800 verbunden.

Fig. 4 zeigt schematisch einen aus dem Stand der Technik bekannten zeitlichen Ablauf von Interrupts zum Programmieren des Beginns einer im folgenden näher zu beschreibenden Haupteinspritzung HE sowie von zwei Voreinspritzungen VE1 und VE2 in Abhängigkeit vom oberen Totpunkt der Kurbelwelle. Wie aus Fig. 4 zu entnehmen ist, werden bei einem 6 Zylinder-Motor statische Interrupts bei beispielsweise ca. 78 ° Kurbelwelle sowie bei beispielsweise ca. 138 ° Kurbelwelle erzeugt, durch welche jeweils der Beginn der Voreinspritzung VE2 sowie der direkt vor der Haupteinspritzung HE liegenden Voreinspritzung VE1 programmiert werden. Die Enden dieser Einspritzungen werden sodann aufgrund dynamischer Interrupts programmiert. Es versteht sich, daß die vorstehenden Kurbelwellenwinkel lediglich beispielhafte Angaben sind. Die Interrupts können rein prinzipiell auch bei anderen Kurbelwellenwinkeln erzeugt werden. Vorstehend wurde lediglich die Programmierung von Voreinspritzungen erläutert. In entsprechender Weise ist jedoch auch mit Nacheinspritzungen zu verfahren, sofern solche vorgenommen werden.

Die Berechnung zur Erkennung von Flankenüberlappungen erfolgt in jedem statischen und dynamischen Interrupt. Berechnet werden können nur Überlappungen zwischen Flanken, die zum Zeitpunkt der Interrupts bekannt sind.

In jedem Interrupt werden folgende Schritte durchgeführt:

1. Die aktuelle Drehzahl n wird ermittelt, diese Drehzahl n wird im gesamten Interrupt verwendet ("Einfrieren der Drehzahl");
2. mit jedem Interrupt werden neue Informationen über Flanken bekannt. Damit nur aktuelle Informationen paarweise verglichen werden, wird der Informationsstatus aktualisiert. Bei jedem Interrupt wird daher ein Flag für neue Informationen gesetzt und geprüft, ob Ansteuerungen, bei denen Flags gesetzt sind, bereits abgearbeitet sind. In diesem Fall werden die betreffenden Flags gelöscht;
3. es folgt eine Bestimmung der Zeitpunkte der Flankenbearbeitung bezogen auf eine beliebige Referenz, zum Beispiel auf die Referenzzeit $t = 0$ bei einem Kurbelwellenwinkel $\phi = 0^\circ$. Dabei werden die bekannten Informationen über Beginnwinkel, Zeitoffset, Beginn und Dauer unter Berücksichtigung der aktuellen Drehzahl zur Extrapolation benutzt. Der allgemeine Zusammenhang zwischen Drehzahl n , Winkel ϕ und Zeit t ist:

$$n = (\phi/t) * c = \text{Gleichung (1)},$$

wobei die Zeit in μ -Sekunden, der Kurbelwellenwinkel ϕ in $^\circ\text{KW}$ gemessen werden und die Konstante c $166667 \text{ (U/min)} / (^\circ\text{KW}/\mu\text{s})$ beträgt;

4. die einzelnen Flankenzeitpunkte werden paarweise auf Überlappung untersucht. Vorteilhafterweise werden nur Paare gemischter Bankzugehörigkeit getestet, da sich Überlappungen innerhalb derselben Bank aus Applikationsfehlern ergeben. Die sichere Strategie besteht aber dennoch im Testen jeder denkbaren Flankenpaare;
5. jeder Einspritzung wird eine Priorität zugeteilt. Abhängig von System- und Umgebungsparametern wird jeder Einspritzung eine bestimmte Priorität zugeordnet. Dadurch wird bei jeder Einspritzpaarung unterschieden zwischen niederpriorien und hochpriorien Ansteuerungen. Es wird sichergestellt, daß eine Umschaltung der Prio-

ritäten während eines Berechnungsablaufs keine negativen Auswirkungen hat. So können beispielsweise nach der aktuellen Prioritätenkonstellation eine Überlappungserkennung und Maßnahmen im statischen Interrupt vorgenommen werden, anschließend können die Prioritäten umgeschaltet werden, also geändert werden. In den nachfolgenden dynamischen Interrupts dieser Paarung müßte nach neuer Priorität regiert werden, was im schlimmsten Falle eine Maßnahme gegen die Ansteuerung einer Einspritzung höherer Priorität (hochpriorie Ansteuerung) zur Folge hätte. Deshalb muß auch bei einer derartigen Umschaltung der Prioritäten die Konsistenz der Prioritätenzuordnung gewährleistet sein. Vorteilhaft wird dies durch Zuordnung eines Prioritätensatzes zu jeder Paarung erfüllt. Die Größe des Buffers für verschiedene Prioritätensätze muß dabei so gewählt werden, daß die maximal mögliche Anzahl an Änderungen der Prioritätssätze während der gesamten Abarbeitung einer Paarung gespeichert werden kann. Der Prioritätensatz einer Paarung wird nach ihrer vollständigen Abarbeitung mit dem aktuellen, durch einen Prioritätenmanager der elektronischen Ansteuerschaltung vorgegebenen Satz erneuert;

6. bei der Untersuchung auf Kollision wird in der Zeitbasis der Abstand des jeweiligen Beginns der beiden Flanken zueinander ermittelt. Ausgehend von diesem Abstand kann entschieden werden, ob eine Überlappung vorliegt. Da die Flankenzeitpunkte auf den Winkeln der Einspritzungen aufbauen, muß hierbei auf 720°KW -Überläufe besonders geachtet werden. Hierbei ist rein prinzipiell eine Vielzahl von Realisierungsmöglichkeiten bei der Abstandsberechnung und der Auswertung denkbar. In der nachfolgend beschriebenen Ausgestaltung des Verfahrens werden 3 Berechnungen vorgenommen.

In Fig. 5 sind die Berechnungen auf der Winkelbasis dargestellt, auf der Abszisse ist dabei der Wert einer niederpriorien Flanke A, auf der Ordinate der Wert einer hochpriorien Flanke B aufgetragen. Die hochpriorie Flanke wird nach früh (pre) und nach spät (post) mit Bereichen "abgesichert". Falls nun eine niederpriorie Flanke diesen Bereich schneidet, liegt eine Kollision vor. Die Bereiche sind in der Abbildung markiert. Bereiche außerhalb $720^\circ\text{KW} = \phi_{\max}$ werden entsprechend der Zuordnung in den zulässigen Bereichen übertragen. Die Ergebnisse der Berechnungen gemäß folgender Gleichungen:

$$B - A = \text{Gleichung (2)}$$

$$B - A - \phi_{\max} = \text{Gleichung (3)}$$

$$B - A + \phi_{\max} = \text{Gleichung (4)}$$

sind im Diagramm in Fig. 2 gekennzeichnet. Überlappungen, die durch die einzelnen Berechnungen erkannt werden, sind dabei jeweils durch die gleiche Schraffur gekennzeichnet. In Fig. 5 ist der Zusammenhang auf Winkelbasis erläutert, die Transformation in den Zeitbereich erfolgt mit der oben erläuterten Gleichung (1). Ein Beispiel von $A = 50^\circ$ und $B = 100^\circ$ liefert mit Gleichung (2) die Überlappung bei gegebenen Werten der Verschiebung nach früh (pre) und nach spät (post);

7. In Abhängigkeit vom Überlappungsgrad wird der Grad der Verschiebung bzw. Verkürzung ermittelt. Verschieben wird nach spät derart, daß die niederpriorere Beginnflanke im Abstand eines Zeitvorhalts nach dem voraussichtlichen Ende der hochprioreren Flanke platziert wird. Beim Verschieben wird die Dauer beibehalten. Verschieben wird auch der Zeitpunkt des dynamischen Interrupts, der an die Beginnflanke mit festem Abstand gekoppelt ist. Verkürzt wird derart, daß die niederpriorere Endeflanke nach früh verschoben wird. Der Zeitpunkt der Beginnflanke wird beibehalten. Die Entscheidung ob verschoben oder verkürzt wird, hängt davon ab, ob zum Zeitpunkt der Überlappungserkennung die Beginnflanke bereits abgearbeitet wird. Wird die Beginnflanke bereits abgearbeitet, wobei hierunter der Beginn des Ablaufs des Verbrennungsvorgangs verstanden wird, so ist ein Verschieben nicht mehr möglich, es kann nur noch verkürzt werden. Daraus folgt, daß bei allen Überlappungen von niederprioreren Endeflanken nur verkürzt werden kann, da der Zeitpunkt der Überlappungserkennung nur im dynamischen Interrupt der niederprioreren Einspritzung liegen kann, diese aber mit der Ausführung der Beginnflanke verbunden ist.

Als Beispiel wird in Verbindung mit Fig. 6 eine Verschiebung dargestellt. Die Überlappung wird mittels der Gleichung (2) erkannt, der resultierende Überlappungsbetrag t_k geht direkt in den Grad der Verschiebung ein. Der Grad der Verschiebung ist

$$t_k + \text{Zeitvorhalt} + \text{Absicherungsbereich post} \\ = \text{Gleichung (5)}.$$

Gleichung (5) gilt auch dann, wenn die Überlappung aus Gleichung (3) oder Gleichung (4) ermittelt wurde.

Für eine Verkürzung der Ansteuerdauer ist in Fig. 6 ein Beispiel dargestellt. Die Überlappung wird wieder mit Gleichung (2) erkannt, der resultierende Überlappungsbetrag t_k geht auch hier direkt in den Grad der Verkürzung ein. Der Grad der Verkürzung ist

$$t_k - \text{Zeitvorhalt} - \text{Absicherungsbereich pre} \\ = \text{Gleichung (6)}$$

Gleichung (6) gilt auch dann, wenn die Überlappung aus Gleichung (3) oder Gleichung (4) ermittelt wurde.

Neben Primärkollisionen sind auch Sekundärkollisionen möglich. Sekundärkollisionen ergeben sich zum Beispiel, wenn im statischen Interrupt die niederpriorie Beginnflanke nach spät verschoben wird, diese aber mit der hochpriorien Endeflanke kollidiert. Der Zeitpunkt der Kollisionserkennung liegt dann im dynamischen Interrupt der hochpriorien Ansteuerung. Also muß die niederpriorie Beginnflanke bei dieser Sekundärkollision weiter nach spät verschoben werden. In entsprechender Weise ist im Falle von Tertiärkollisionen vorzugehen. Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, daß nach einer Überprüfung aller Paarungen, die mit der Erkennung einer Überlappung und zugehöriger Maßnahme endete, ein nochmaliger Durchlauf aller Paarungen erfolgt, und zwar solange, bis entweder ein Abbruchkriterium basierend auf der Anzahl der Durchläufe auftritt oder Überlappungsfreiheit festgestellt wird.

Bei einer anderen Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt die Erkennung von unerwünschten Überschneidungen der Zeitintervalle, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll mit einem Zeitintervall, in dem das andere pie-

zoelektrische Element ge- oder entladen werden soll durch Berechnung genutzter Winkelbereiche und Vergleich mit vorgegebenen zulässigen Winkelbereichen, das heißt kollisionsfreien oder kollisionstoleranten Winkelbereichen.

Als kollisionsfreier Winkelbereich wird dabei der Winkelbereich verstanden, der von den verschiedenen Einspritztypen eines Zylinders des Verbrennungsmotors überstrichen werden darf, ohne daß es zu Überlappungen von Ansteuerungen der Aktoren kommt. Der kollisionsfreie Winkelbereich wird beispielsweise bei einem 4-Zylinder-Verbrennungsmotor mit 1-Bank-Struktur durch Division des Wertes 720° Kurbelwellenwinkel durch die Anzahl der Zylinder, also vier bestimmt. Der kollisionsfreie Winkelbereich beträgt also bei einer Verbrennungsmaschine dieses Typs 180° Kurbelwellenwinkel. Als genutzter Winkelbereich wird der vom Beginn der frühesten Voreinspritzung bis zum Ende der spätesten Nacheinspritzung überstrichene Kurbelwellenwinkelbereich bezeichnet. Überschreitet nun der genutzte Winkelbereich den kollisionsfreien Winkelbereich, so überlappt beispielsweise eine späte Einspritzung eines Zylinders mit einer frühen Einspritzung eines anderen Zylinders auf derselben Bank. Wie bereits vorstehend erwähnt, darf auf einer Bank nur ein Aktor gleichzeitig geladen sein, andernfalls ein Ladungsausgleich stattfinden würde, der zu einer gestörten Ansteuerung führen kann.

Neben der 1-Bank-Struktur können auch mehrere Zylinder zu einer Bank zusammengefaßt werden, wobei mehrere Bänke von derselben Versorgungseinheit zum Laden oder Entladen angesteuert werden. Eine solche Anordnung wird als Quasi-Mehrbank-Struktur bezeichnet. In diesem Fall wird der Winkelbereich, in dem Kollisionen von Ansteuerungen auf verschiedenen Bänken durch ein Flankenmanagement aufgelöst werden können, als kollisionstoleranter Bereich bezeichnet. In diesem Falle führt eine Überschreitung des kollisionstoleranten plus kollisionsfreien Winkelbereichs zu gestörten Ansteuerungsverläufen.

Am Beispiel einer 6-Zylinder-Verbrennungsmaschine mit Quasi-2-Bank-Struktur beträgt der kollisionsfreie Winkelbereich 120° Kurbelwellenwinkel und der kollisionstolerante Winkelbereich ebenfalls 120° Kurbelwellenwinkel. Der gesamte zulässige Winkelbereich wird nun durch die Summe des kollisionsfreien Winkelbe-

reichs und des kollisionstoleranten Winkelbereichs bestimmt, im Falle des 6-Zylinder-Verbrennungsmotors mit Quasi-2-Bank-Struktur entspricht der zulässige Winkelbereich 240° Kurbelwellenwinkel. Allgemein kann der zulässige Winkelbereich bei einem Verbrennungsmotor mit Quasi-2-Bank-Struktur durch Division des Wertes 720° Kurbelwellenwinkel durch die Anzahl der Zylinder multipliziert mit der Anzahl der Bänke bestimmt werden.

Kern dieser Ausgestaltung des Verfahrens zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor ist die Berechnung des genutzten Winkelbereichs und der Vergleich mit dem zulässigen Winkelbereich, das heißt dem kollisionsfreien oder der Summe aus kollisionsfreiem und kollisionstolerantem Winkelbereich.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel des Verfahrens beschrieben.

In jedem Interrupt werden neue Informationen, die zur Berechnung des genutzten Winkelbereichs genutzt werden, bekannt. Dabei werden in jedem Interrupt folgende Schritte durchgeführt:

1. Die aktuelle Drehzahl n wird ermittelt, diese Drehzahl wird im gesamten Interrupt verwendet ("Einfrieren der Drehzahl").
2. Mit jedem Interrupt werden neue Informationen über Flanken bekannt. Diese Informationen werden unter Verwendung der aktuellen Drehzahl n auf die Winkelbasis umgerechnet.
3. Jede neu hinzugekommene Winkelinformation wird in den genutzten Winkelbereich hineingerechnet. Dabei wird aus der Menge der bekannten Winkelinformationen eine Minimum-/Maximumauswahl vorgenommen mit dem Ziel, die zu einem Arbeitsspiel gehörende früheste und späteste Ansteuerflanke zu ermitteln. Aus den Winkelinformationen der frühesten und spätesten Ansteuerflanken wird durch Differenzbildung der bekannte genutzte Winkelbereich ermittelt.

Nach dem dynamischen Interrupt der letzten Nacheinspritzung ist auf diese Weise der gesamte genutzte Winkelbereich von der frühesten Voreinspritzung bis zur spätesten Nacheinspritzung bekannt, wobei der allgemeine Zusammenhang zwischen Drehzahl n Winkel ϕ und Zeit t oben in Form der Gleichung (1) bereits erläutert wurde.

4. Der bekannte genutzte Winkelbereich wird mit den vorgegebenen kollisionsfreien und kollisionstoleranten Winkelbereichen verglichen. Bei Bereichsüberschreitung erfolgt eine Fehlermeldung und eine Quantifizierung der Bereichsüberschreitung.
5. Bei allen Berechnungen wird dabei die Drehzahldynamik mit ihrer Wirkung vom Berechnungszeitpunkt bis zum Zeitpunkt der Abarbeitung, das heißt der Ansteuerung der Aktoren berücksichtigt.

Möglichkeiten zur Reaktion auf eine Fehlermeldung sind nun

- a) eine entsprechende Verschiebung einer niederpriorigen Einspritzung, so daß der genutzte Winkelbereich wieder im zulässigen Bereich liegt;
- b) eine Berücksichtigung der Fehlermeldung und des Grades der Bereichsüberschreitung bei der nächstfolgenden Ansteuerung im gleichen oder ähnlichen Betriebspunkt.

Patentansprüche

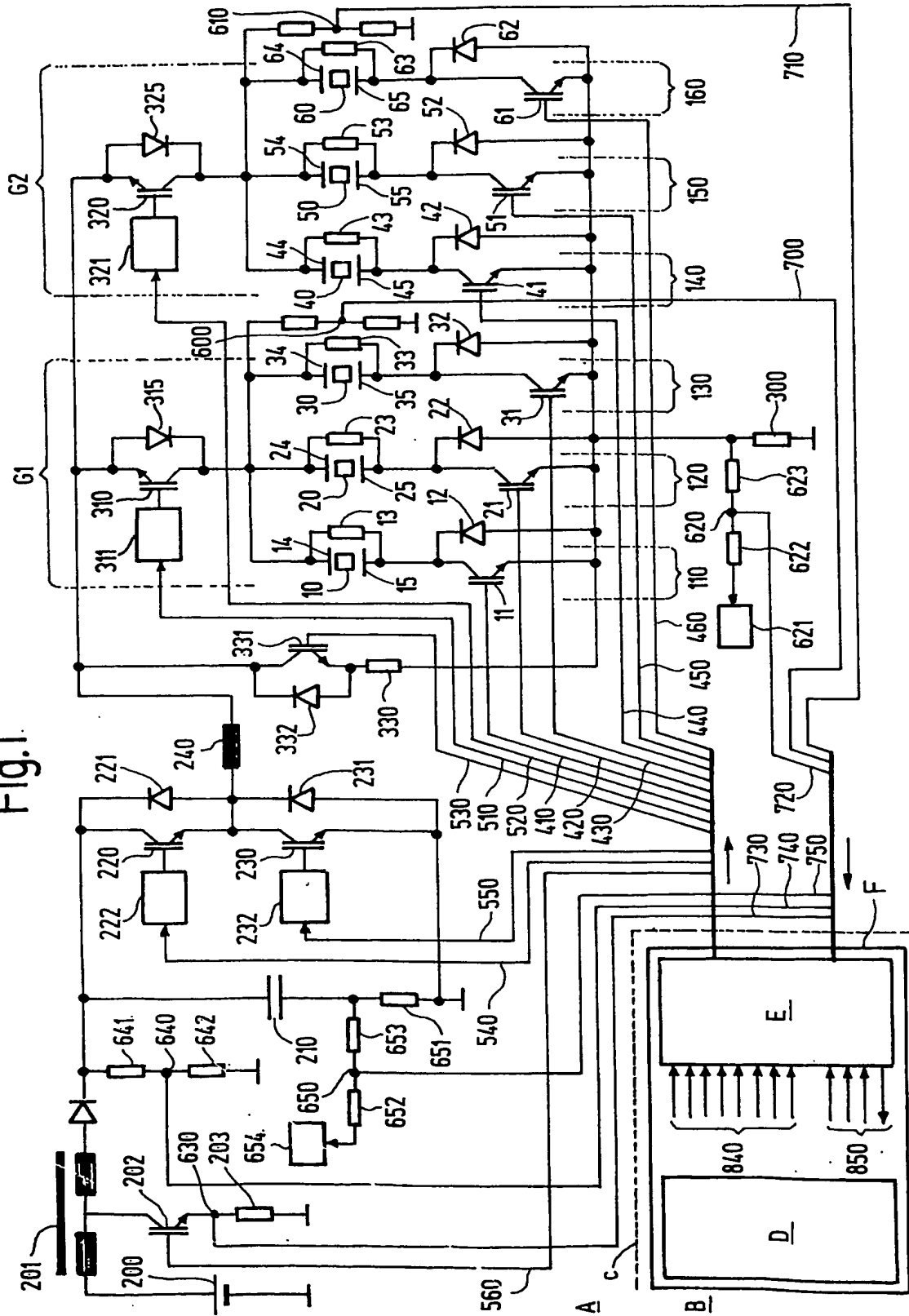
1. Verfahren zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor mit zumindest zwei jeweils einer Bank zugeordneten Zylindern, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei piezoelektrische Elemente aufweist und jedem Zylinder zumindest je ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder durch Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, und wobei den piezoelektrischen Elementen eine Versorgungseinheit zum Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist und wobei überwacht wird, ob eine Überschneidung eines Zeitintervalls, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll mit einem Zeitintervall, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, auftritt, dadurch gekennzeichnet, daß überwacht wird, ob bei einer Einspritzung niederer Priorität die Ladung oder Entladung innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls um den Zeitpunkt einer Ladung oder Entladung einer Einspritzung höherer Priorität auftritt, wobei während des Betriebs der Kraftstoffeinspritzanlage die Abstände von zeitlichen Lade- und/oder Entladeflanken (Flankenüberlappungen) bestimmt und hieraus die Größe der Verschiebung und/oder Verkürzung der Einspritzungen niederer Priorität gegenüber der Einspritzungen höherer Priorität bestimmt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Prioritäten der Einspritzung vorgegeben werden, wobei die Vorgabe für einen Einspritzzyklus beibehalten wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung der Flankenüberlappungen während Interrupts einer Ansteuerschaltung während des Betriebs der Kraftstoffeinspritzanlage erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung der Flankenüberlappungen in Abhängigkeit von der Drehzahl und von dem Kurbelwellenwinkel des Verbrennungsmotors erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Flankenüberlappungen paarweise, vorzugsweise bei Paaren gemischter Bankzugehörigkeit ermittelt werden.
6. Verfahren zum Betrieb einer Kraftstoffeinspritzanlage für einen Verbrennungsmotor mit zumindest zwei jeweils wenigstens einer Bank zugeordneten Zylindern, wobei die Kraftstoffeinspritzanlage zumindest zwei piezoelektrische Elemente aufweist und jedem Zylinder zumindest je ein piezoelektrisches Element zur Einspritzung von Kraftstoff in den Zylinder durch Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist, und wobei den piezoelektrischen Elementen eine Versorgungseinheit zum Laden oder Entladen des piezoelektrischen Elementes zugeordnet ist und wobei überwacht wird, ob eine Überschneidung eines Zeitintervalls, in dem ein piezoelektrisches Element ge- oder entladen werden soll mit einem Zeitintervall, in dem das andere piezoelektrische Element ge- oder entladen werden soll, auftritt, dadurch gekennzeichnet, daß überwacht wird, ob ein vom Beginn der frühesten Einspritzung bis zum Ende der spätesten Einspritzung überstrichener Kurbelwellenwinkelbereich (genutzter Winkelbereich) einen vorgegebenen zulässigen Winkelbereich überschreitet und hieraus die Größe der Verschiebung und/oder Verkürzung der Einspritzungen niedrigerer Priorität gegenüber den Einspritzungen höherer Priorität bestimmt werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der zulässige Winkelbereich bei Verbrennungsmotoren mit 1-Bank-Struktur durch Division des Wertes 720° Kurbelwellenwinkel durch die Anzahl der Zylinder bestimmt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der zulässige Winkelbereich bei Verbrennungsmotoren, bei denen mehrere Zylinder zu einer Bank zusammengefaßt sind und mehrere Bänke von derselben Versorgungseinheit zum

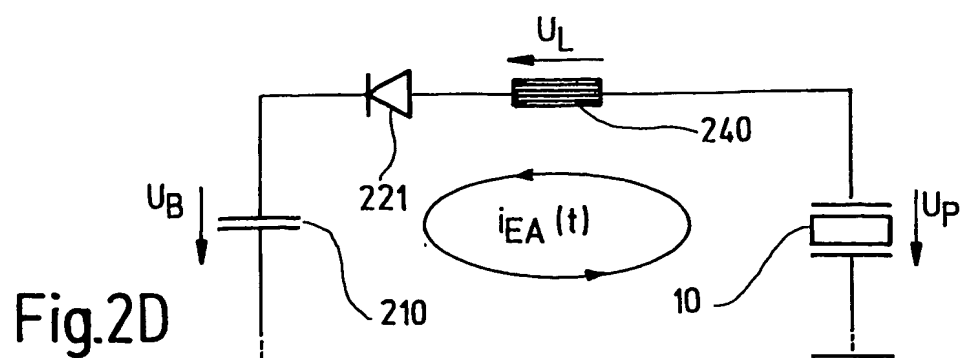
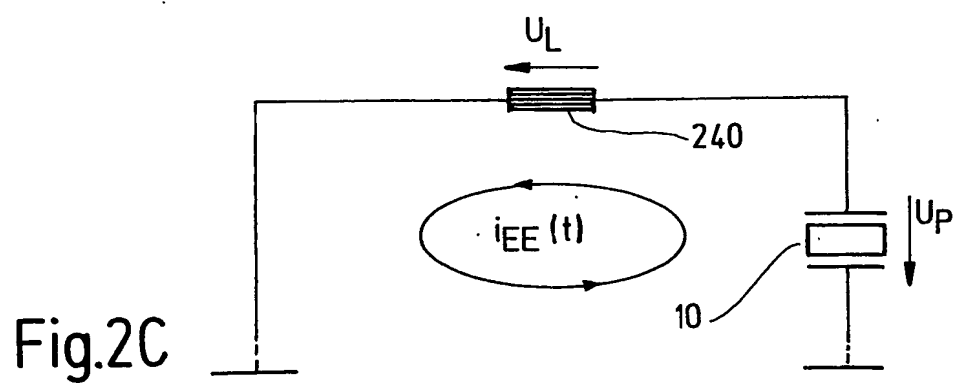
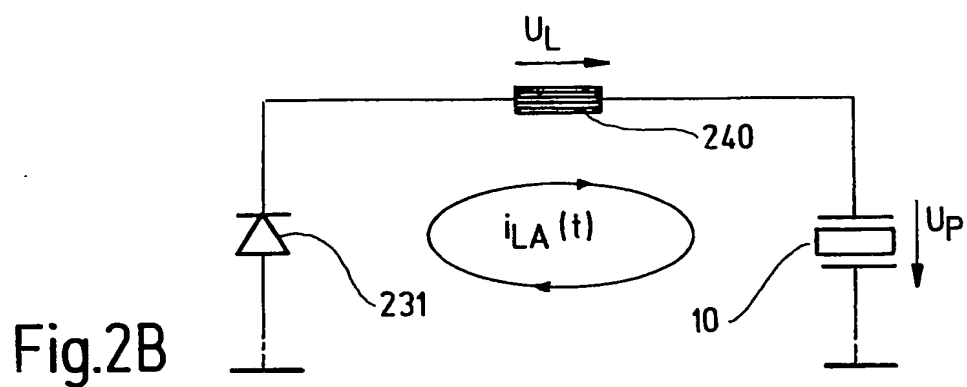
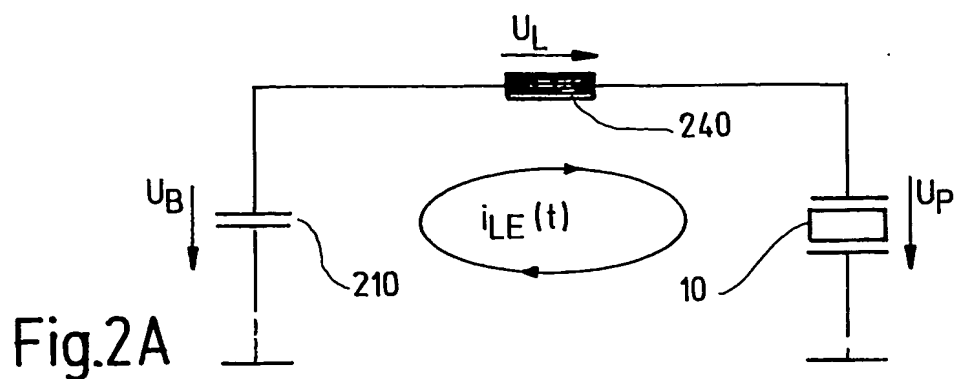
Laden oder Entladen der piezoelektrischen Elemente versorgt werden (Quasi-Mehrbank-Struktur) durch Division des Wertes 720° Kurbelwellenwinkel durch die Anzahl der Zylinder multipliziert mit der Anzahl der Bänke bestimmt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der genutzte Winkelbereich durch eine Minimum-/Maximumauswahl der Winkelinformationen der frühesten Einspritzung und der spätesten Einspritzung bestimmt wird.

Fig.1



2 / 7



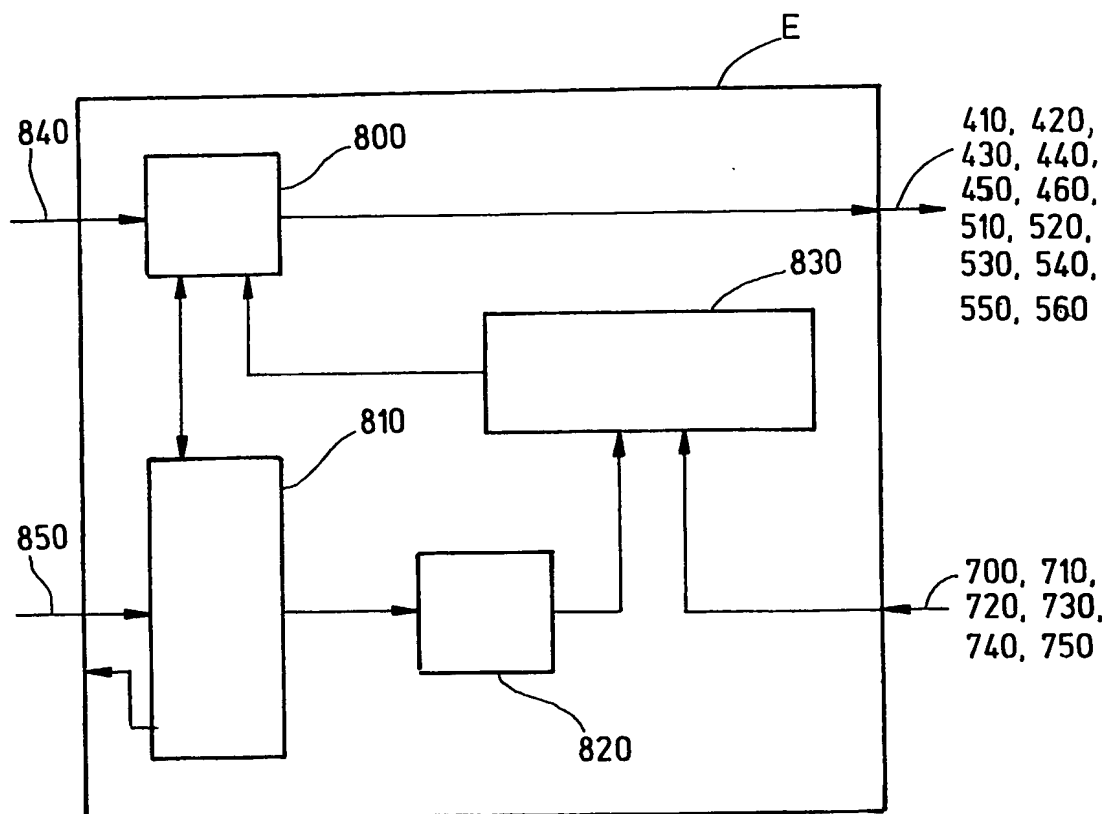


Fig.3

Zeitlicher Ablauf der Interrupts (Stand der Technik)

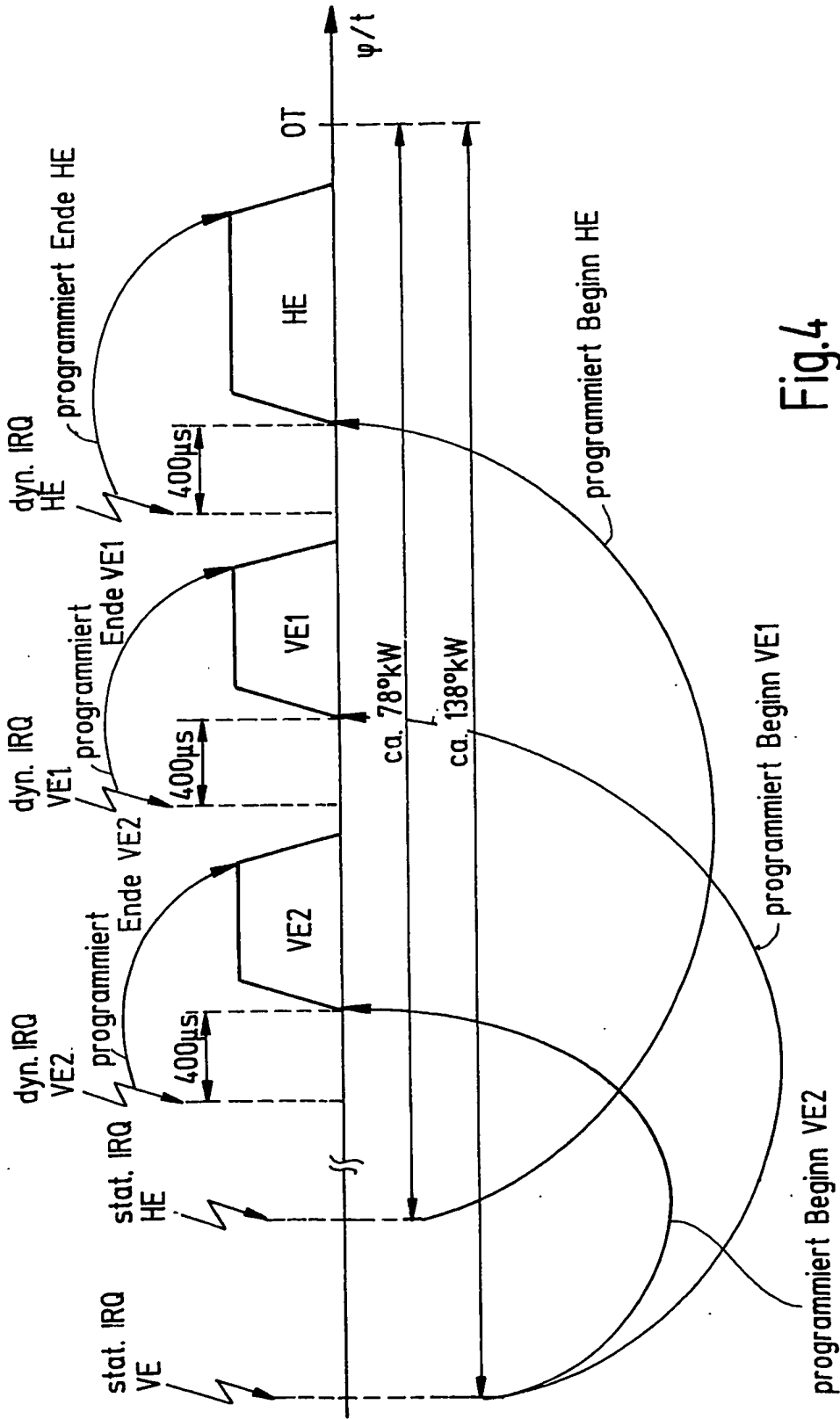
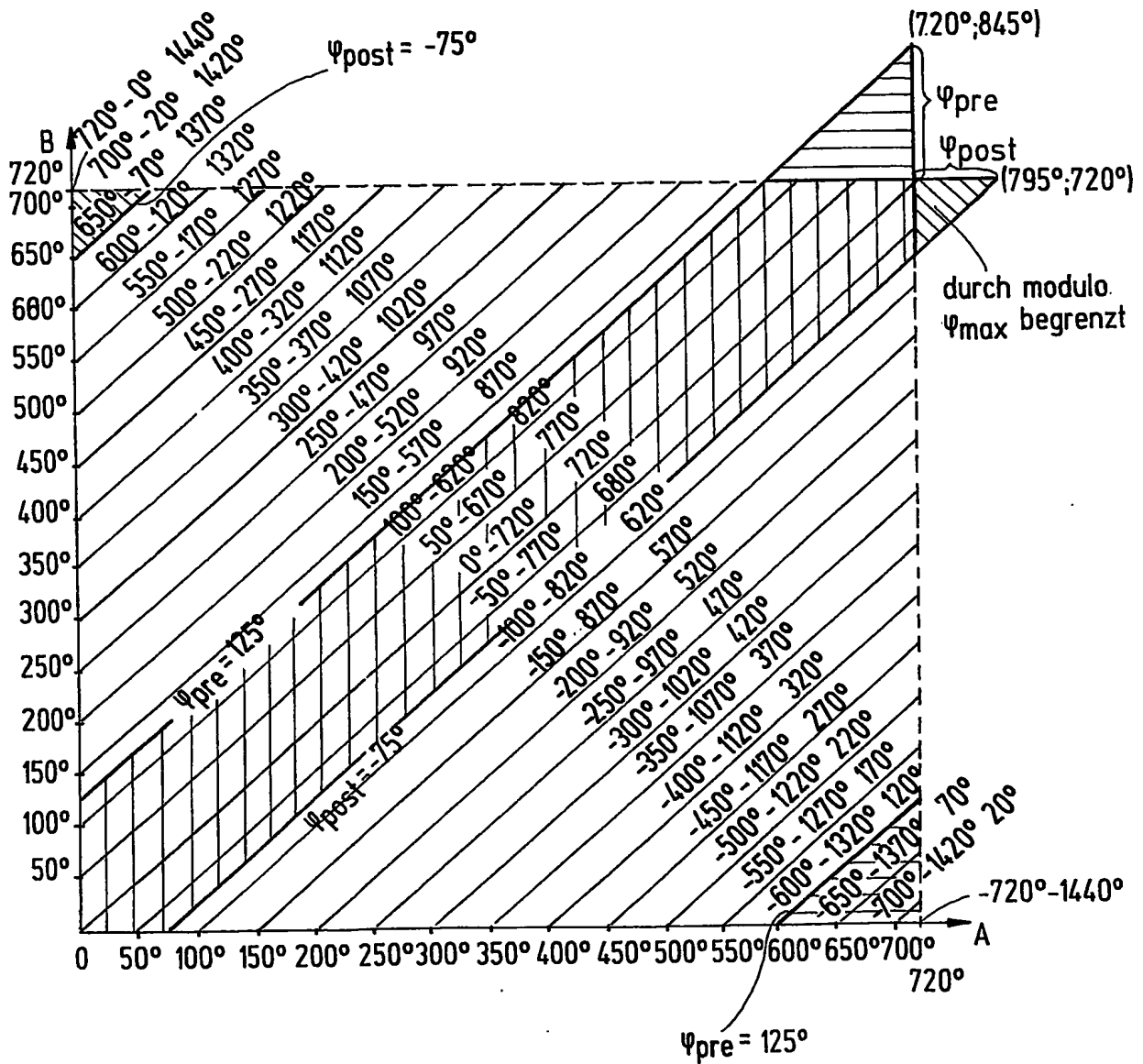


Fig.4

Kollisionsbereiche von Flankenpaaren im Winkelbereich



$$t_k = B - A$$

$$t_k = B - A - \psi_{max}$$

$$t_k = B - A + \psi_{max}$$

Bsp.: $\psi_{post} = 75^\circ$

$$\psi_{pre} = 125^\circ$$

$$\psi_{max} = 720^\circ$$

Kollision für:

$$-\psi_{post} \leq t_k \leq \psi_{pre}$$

$$t_k \geq -\psi_{post}$$

$$t_k \leq \psi_{pre}$$

Fig.5

Verschieben einer niederpriorigen Flanke nach spät (Berechnung)

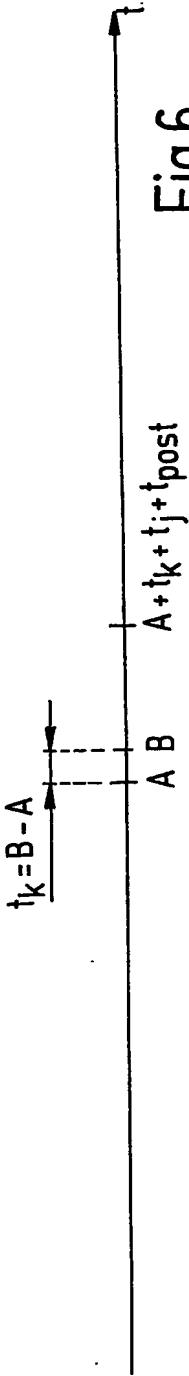
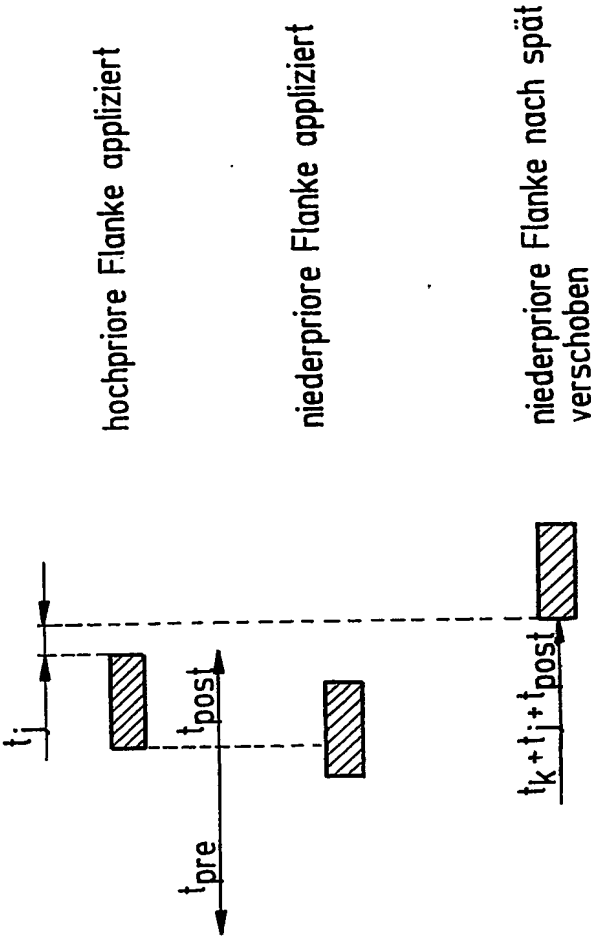
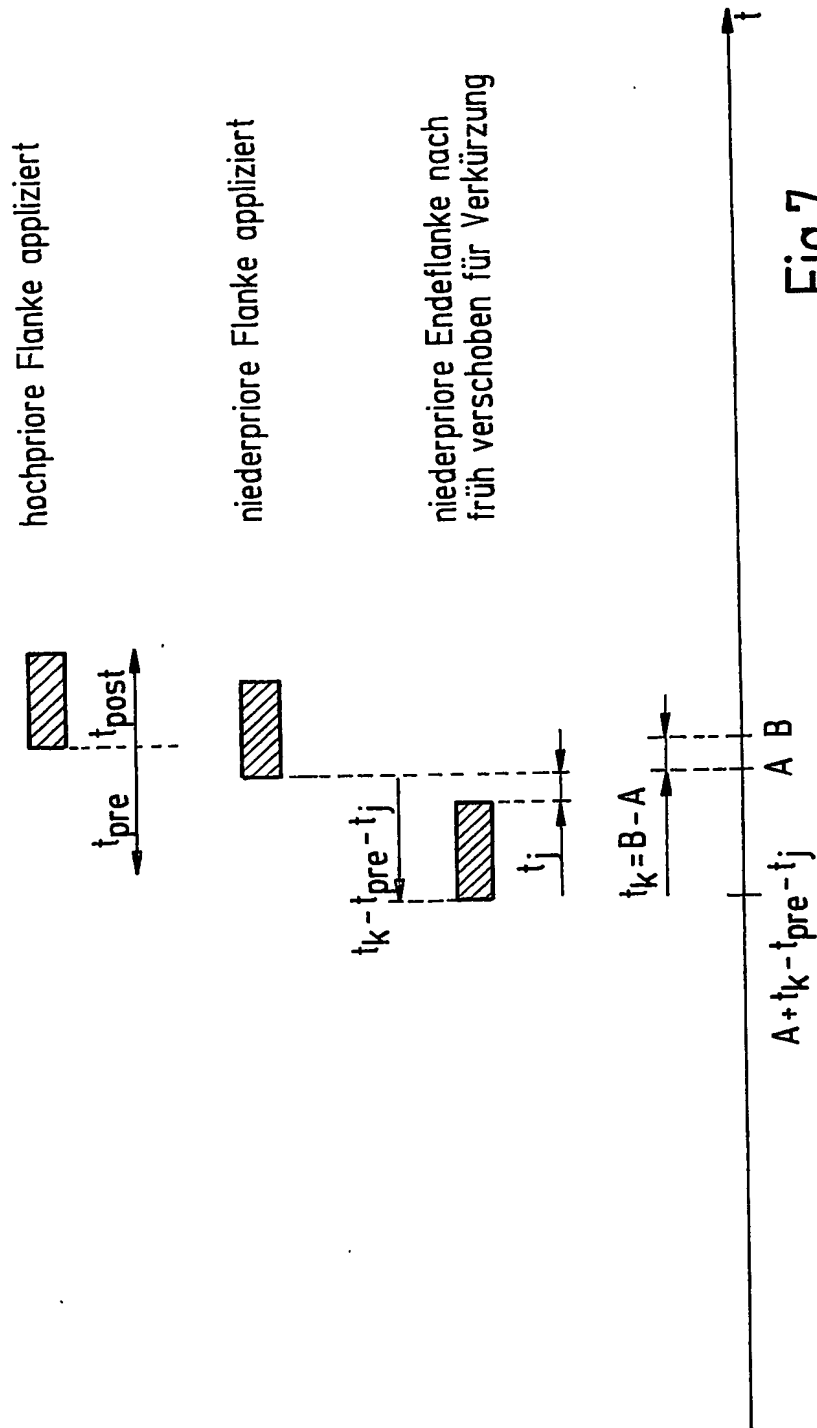


Fig.6

Verkürzen einer niederprior. Ansteuerung (Berechnung)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Classification No

PCT/DE 03/01154

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F02D41/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F02D H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 100 33 343 A (BOSCH GMBH ROBERT) 17 January 2002 (2002-01-17) cited in the application paragraph '0016! claim 4	1,6
A	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1999, no. 11, 30 September 1999 (1999-09-30) & JP 11 159414 A (HITACHI LTD), 15 June 1999 (1999-06-15) abstract -----	1,6

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

G document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 August 2003

Date of mailing of the international search report

01/09/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

De Vita, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Publication No

PCT/DE 03/01154

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10033343	A	17-01-2002	DE 10033343 A1	17-01-2002
			GB 2364576 A ,B	30-01-2002
			JP 2002106402 A	10-04-2002
			US 2002046731 A1	25-04-2002
<hr/>				
JP 11159414	A	15-06-1999	NONE	
<hr/>				

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 7 F02D41/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

 Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 IPK 7 F02D H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 100 33 343 A (BOSCH GMBH ROBERT) 17. Januar 2002 (2002-01-17) in der Anmeldung erwähnt Absatz '0016! Anspruch 4	1,6
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1999, no. 11, 30. September 1999 (1999-09-30) & JP 11 159414 A (HITACHI LTD), 15. Juni 1999 (1999-06-15) Zusammenfassung	1,6

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

19. August 2003

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

01/09/2003

 Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

De Vita, D

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Patentzeichen

PCT/DE 03/01154

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10033343	A	17-01-2002	DE 10033343 A1	17-01-2002
			GB 2364576 A , B	30-01-2002
			JP 2002106402 A	10-04-2002
			US 2002046731 A1	25-04-2002
<hr/>				
JP 11159414	A	15-06-1999	KEINE	
<hr/>				